



SURCOTES MARINES DANS LE GOLFE DU LION ET FORCAGES ATMOSPHERIQUES : VARIABILITE CONTEMPORAINE ET FUTURE (1950-2100)

Albin Ullmann, Vincent Moron

► To cite this version:

Albin Ullmann, Vincent Moron. SURCOTES MARINES DANS LE GOLFE DU LION ET FORCAGES ATMOSPHERIQUES : VARIABILITE CONTEMPORAINE ET FUTURE (1950-2100). Bulletin de l'Association française de géographie, 2010, pp.1-5. hal-00447121

HAL Id: hal-00447121

<https://hal.science/hal-00447121>

Submitted on 14 Jan 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SURCOTES MARINES DANS LE GOLFE DU LION ET FORCAGES ATMOSPHERIQUES : VARIABILITE CONTEMPORAINE ET FUTURE (1950-2100)

ULLMANN ALBIN^{1, 2}, MORON VINCENT^{1, 2}

¹ Centre de Recherches de Climatologie, UMR 5210 CNRS, Université de Bourgogne, Dijon

² CEREGE, UMR 6635 CNRS. UFR des Sciences géographiques et de l'Aménagement, Université Aix-Marseille I, Aix-en-Provence

Résumé : Les surcotes marines dans le Golfe du Lion se produisent principalement lorsque des forts vents d'afflux de secteur sud à sud-est soufflent à l'échelle du Golfe du Lion. Cette circulation atmosphérique régionale est associée à la présence d'un fort gradient barométrique zonal sur la méditerranée occidentale entre un centre dépressionnaire autour du Golfe de Gascogne et des hautes pressions sur l'Europe Centrale. Cette géographie barométrique est généralement associée au type de temps « Greenland Above ». Dans la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, la lente hausse de la pression de surface sur l'Europe Centrale a augmenté le risque de fortes surcotes dans le Golfe du Lion durant les jours de « Greenland Above ». Un modèle de régression linéaire permet de simuler de façon robuste la variabilité interannuelle de la hauteur des surcotes dans le Golfe du Lion à partir de la pression atmosphériques de surface autour du Golfe de Gascogne comme prédicteur. Ce modèle statistique permet de montrer que la hauteur des fortes surcotes dans le Golfe du Lion pourrait rester stationnaire au 21^{ème} siècle et pour le scénario A1b du changement climatique.

Mots-clés : surcotes, Golfe du Lion, type de temps, désagrégation d'échelle, changement climatique

Abstract: Sea surges in the Gulf of Lions are mainly forced by southerly and south-easterly winds. This regional-scale atmospheric circulation is leading by a strong zonal gradient between low pressure system over the Bay of Biscay and high pressure over central Europe. This synoptic-scale circulation mostly happens during "Greenland Above" weather regime. In the second half of the 20th century, a slow increase of the sea-level pressure over central Europe increased the probability of having "Greenland Above" weather types associated with a southerly atmospheric circulation in the Gulf of Lions, thus leading to strong surges. A linear regression is used to simulate the interannual variability of highest surges in the Gulf of Lions with atmospheric pressure over the Bay of Biscay as a predictor. Over the 21st century, highest surges in the Gulf of Lions could stay stationary in A1b climate change scenario.

Key-words: sea surges, Gulf of Lion, weather regimes, statistical downscaling, climate change

1. Introduction

Les surcotes marines dans le Golfe du Lion sont des élévations brutales et transitoires du niveau marin sous l'effet des conditions météorologiques locales. Ces « marées de tempêtes » constituent le principal risque d'érosion et de submersion des côtes basses et sableuses comme celles du Golfe du Lion. Dans ce Golfe, les surcotes sont des événements d'échelle régionale, c'est-à-dire qu'elles se produisent de façon synchrone de Port-Vendres à Marseille (Ullmann *et al.*, 2008). Le climat étant un système multi-scalaire dynamique, cette étude propose tout d'abord d'isoler les forçages atmosphériques des surcotes à différentes échelles spatiales et d'appréhender leurs interactions: les conditions locales de vent dans le Golfe du Lion (~ 22 000 km²), la circulation atmosphérique à l'échelle synoptique, c'est-à-dire liée au passage des perturbations tempérées sur une superficie d'environ un million de km² et les types de temps, qui représentent la circulation atmosphérique sur le domaine extratropical de l'Atlantique Nord (~ 30 millions de km²). La problématique propose ensuite d'analyser comment la hausse séculaire de la hauteur des surcotes dans le Golfe du Lion mesurée au 20^{ème} siècle (Ullmann *et al.* 2007) est elle être intégrées aux conditions atmosphériques des différentes échelles spatiales considérées. Cette étude se base enfin sur la simulation statistique des surcotes dans

le Golfe du Lion, via une méthode de désagrégation d'échelle spatiale, afin prévoir la variabilité des surcotes les plus fortes au 21^{ème} siècle dans le cadre du changement climatique.

2. Données

2.1 Les données marégraphiques

Quatre séries marégraphiques réparties autour du Golfe du Lion sont analysées dans cette étude : Grau-de-la-Dent en Camargue – GD – (43°36N – 5°10E), Sète – SE – (43°10N - 3°40E) et Port-Vendres – PV – (43°01N - 3°02E) de 1986 à 1995. Une série marégraphique quotidienne est également disponible au Grau-de-la-Dent de 1905 à 2005. Les séries marégraphiques de Sète et de Port-Vendres proviennent du Service Maritime et de la Navigation du Languedoc Roussillon. Celles du Grau-de-la-Dent nous ont été fournies par la Compagnie des Salins du Midi et de l'Est. Toutes les données sont exprimées en heures universelles (TU). Le système altimétrique de référence est le Niveau Général Français (NGF). Pour chaque valeur horaire de hauteur d'eau, la marée astronomique correspondante a été calculée à l'aide du logiciel POLIFEMO (Tomasin, 2005 ; Ullmann *et al.*, 2007). Ce logiciel réalise une analyse harmonique sur les données disponibles afin d'extraire les principales constantes de la marée astronomique. La soustraction de la valeur de la marée astronomique de nos données marégraphiques horaires permet d'extraire la surcote marine. Il s'agit alors de la hauteur du plan d'eau uniquement forcée par la circulation atmosphérique.

2.2. Les données atmosphériques

2.2.1. Les données anémométriques

Les séries tri-horaires de directions et vitesses du vent à Cap Couronne (43.19°N – 5.03°E) de 1961 à 2003, Sète (43.23°N – 3.41°E) de 1949 à 2003 et Port-Vendres, au Cap Béar (42.31°N – 3.08°E), de 1949 à 2003 proviennent des enregistrements effectués par Météo France (figure 1). Les directions sont mesurées par classes de 20°, établies dans le sens horaire par rapport au nord géographique et correspondent à la direction moyenne dans laquelle le vent a soufflé pendant les 10 minutes précédant la mesure. La vitesse correspond à la moyenne calculée sur le même intervalle de temps que la direction. Les mesures aux trois stations s'effectuent à 10 mètres au dessus du sol (référence internationale) au niveau de sémaphores implantés à moins de 500 mètres du bord de mer. Elles sont ainsi représentatives des conditions de vents à proximité du littoral et ne sont pas polluées par des infrastructures ou la végétation.

2.2.2. La pression atmosphérique de surface

Les pressions atmosphériques au niveau de la mer (PSM en hectopascals) mesurées à 12 h TU de 1905 à 2002 sur une grille régulière de 5° x 5° sont issues des observations du NCEP-NCAR (National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research). Elles ont été extraites à partir du site <http://dss.ncar.edu/datasets/ds010.0/> sur la fenêtre spatiale de 40°W à 40°E et de 30°N à 70°N. Les PSM en points de grilles sont issues d'une assimilation de données provenant de différentes sources. Le choix de cette base de données se porte donc surtout sur la fiabilité des données et sur leur disponibilité dans le temps et dans l'espace.

Les PSM quotidiennes (12h TU) de 40°W à 40°E et de 30°N à 70°N, simulées de 1980 à 2100, proviennent des expériences de simulation réalisées dans le projet ESSENCE (Sterl *et al.*, 2008). Le modèle de circulation générale ECHAM/MPI-OM a été utilisé pour simuler un ensemble de 17 expériences sur la période 1980-2100. Pour chacune des 17 expériences, le modèle a été forcé par le même scénario, A1b, mais avec 17 conditions initiales différentes afin d'effectuer des estimations robustes de la réponse du modèle au forçage par rapport à sa variabilité naturelle. Jusqu'en 2000, le

modèle a été forcé par les observations de concentration atmosphérique de gaz à effet de serre alors que pour le 21^{ème} siècle, ces concentrations suivent le scénario A1b (IPCC, 2007).

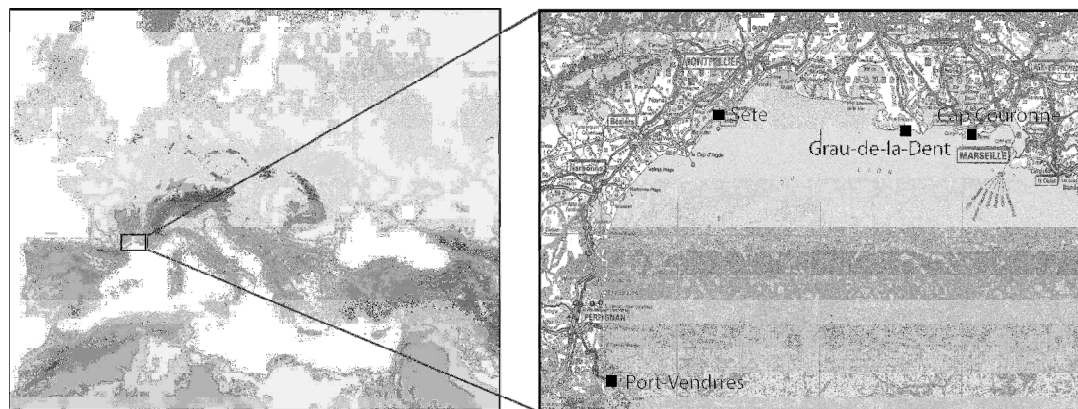


Figure 1. Localisation géographique des 3 stations marégraphiques et météorologiques

3. Les forçages atmosphériques des surcotes

3.1. Conditions anémométriques locales

A proximité du littoral, les effets dynamiques de la circulation atmosphérique prennent de l'ampleur et la vitesse et la direction du vent sont les principaux forçages des variations du niveau des surcotes (Paskoff, 1993; Caspar *et al.*, 2007). Au GD et à SE (PV), plus de 95% (80%) des surcotes > 40 cm sont associées à des vents soufflant de secteur sud à sud-est, de 90° à 180° (figure 2). L'intérêt vient du fait que les vents de direction de 90° à 180° représentent en moyenne 20% des observations annuelles dans le Golfe du Lion alors que la quasi-totalité des surcotes qui s'y produisent sont associées à ces vents. Il est particulièrement intéressant de constater que 20% des surcotes > 40 cm à PV sont associées aux vents de secteur 270° à 315° (figure 2). En effet, le marégraphe à PV est implanté sur un littoral localement ouvert vers le NW sur la Méditerranée. Des vents de NW sont donc capable d'y générer un pic local de surcote (Ullmann *et al.*, 2007)

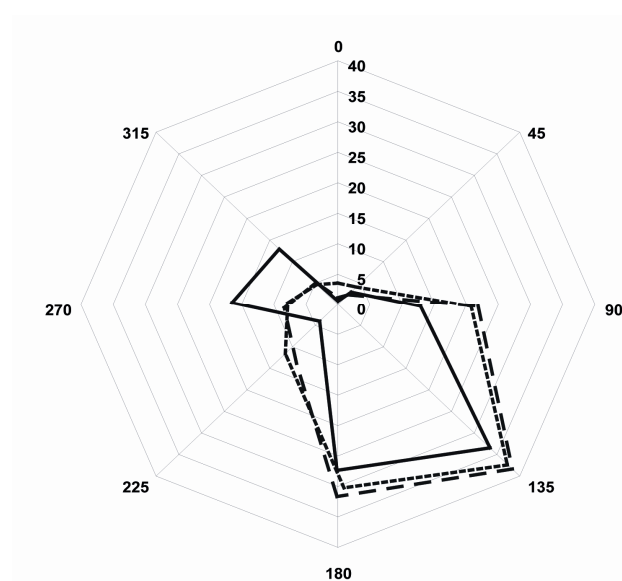


Figure 2. Fréquence des vents à Cap Couronne par classes de 45° pour les surcotes > 40 cm au Grau-de-la-Dent 1986 à 1995 (tirets). Idem pour les vents et les surcotes à Sète (pointillés) et pour les vents et les surcotes à Port-Vendres (trait plein) de 1986 à 1995.

3.2. Forçages synoptiques

La figure 3 présente la géographie barométrique moyenne des jours où les surcotes dépassent 40 cm au GA, à SE et à PV de 1986 à 1995. Les résultats sont ici présentés du Jour J-5 au Jour-J afin d'appréhender l'évolution de la situation synoptique lors de la formation de tels événements. A partir de 5 jours avant le jour-J une dépression se forme sur l'Atlantique Nord au niveau de l'Islande (figure 3). Elle suit ensuite une trajectoire méridionale jusqu'à stagner et se renforcer autour du Golfe de Gascogne où elle atteint le minimum de 1000 hPa le jour-J (figure 3). Associés à des plus hautes pressions sur l'Europe Centrale, le Golfe du Lion se trouve sous un fort gradient barométrique zonal (figure 3). Le vent tournant dans le sens antihoraire autour d'une dépression, l'ensemble du Golfe du Lion se trouve alors sous des forts vents d'afflux de secteur sud à sud-est.

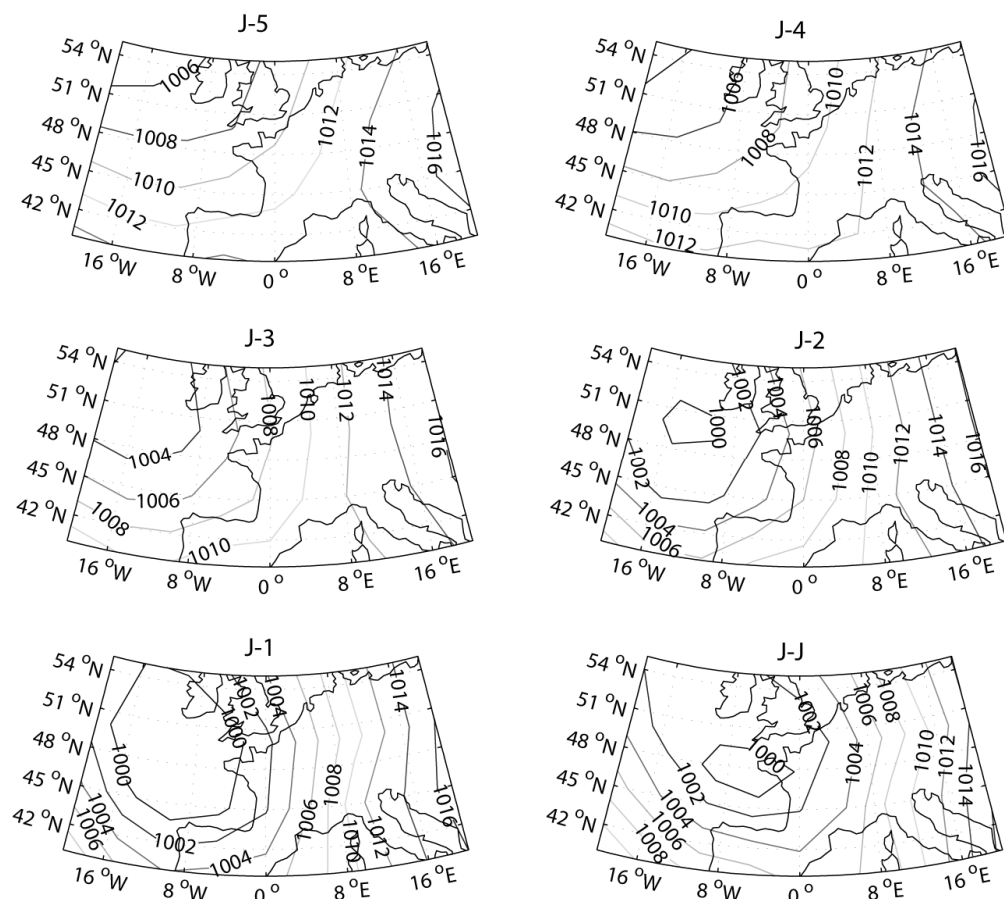


Figure 3. PSM (hPa) moyenne des jours où les surcotes sont supérieures à 40 cm au Grau-de-la-Dent, à Sète et à Port-Vendres de 1986 à 1995 et à partir de 5 jours avant le jour J (de J-5 à J-J).

3.3. Surcotes et types de temps

3.3.1. Les types de temps

Dans cette étude, la classification du champ de pression atmosphérique de surface en type de temps est utilisée afin de synthétiser la circulation atmosphérique extra tropicale, en dégagant des configurations atmosphériques types, récurrentes et redondantes dans le temps (Vautard, 1990; Plaut et Simonnet, 2002). En effet, même si les conditions de pression atmosphérique sont chaque jour uniques, il existe certaines redondances dans les trajectoires et la circulation (Hufty, 2001). Cette méthode permet alors d'associer une ou plusieurs circulations atmosphériques types à la formation des surcotes marines dans le Golfe du Lion. La méthode des nuées dynamiques ou « k-means » (Diday et Simon, 1976) est utilisée ici pour extraire 5 classes qui offrent une bonne représentation des types de

circulation atmosphérique dans la zone extra tropicale (Plaut et Simonnet, 2002 ; Moron et Plaut, 2003, Ullmann et Moron, 2008).

Le premier type de temps (figure 4b) est presque similaire à la configuration barométrique moyenne de la période 1905-2005 (figure 4a), avec un renforcement de la dépression d'Islande et un décalage de l'anticyclone des Açores vers le nord. La direction de la circulation atmosphérique est ainsi proche de la circulation moyenne mais la vitesse est ici renforcée. Cette configuration fait référence au type de temps « Zonal » (ZO). La configuration suivante (figure 4c) présente des pressions anormalement élevées sur le continent européen. Elle représente ici le type de temps « East - Atlantic » (EA) (Plaut et Simonnet, 2002 ; Ullmann et Moron, 2008). Le troisième type de temps (figure 4d) partage des éléments communs avec la phase négative de l'Oscillation Nord Atlantique. En effet, il présente une forte dépression centrée au niveau de 48°-50°N sur l'Atlantique Nord (figure 4d). Cette circulation atmosphérique est favorable aux passages des perturbations tempérées sur l'Europe mais avec une trajectoire plus au sud que la normale (Ullmann et Moron, 2008). Ce type de temps est appelé « Greenland Above » (GA). Le prochain type de temps montre une situation typique de blocage de la circulation atmosphérique associée à la présence d'une dépression centrée sur l'Europe de l'Ouest au niveau du bassin méditerranéen occidental (= BL pour « Blocking »). Pour ce type de temps, les perturbations tempérées peuvent être décalées à l'extrême Nord – Est de l'Atlantique ou bien prendre une trajectoire méridionale sur la Méditerranée (Plaut et Simonnet, 2002). Le cinquième type de temps (figure 4f) est caractérisé par une faible crête sur l'Atlantique. La dépression d'Islande est renforcée et décalée vers la Scandinavie (figure 4f). Ce type de temps est appelé « Atlantique Ridge » (AR) en référence aux noms donnés dans des travaux précédents (Plaut et Simonnet, 2002; Moron et Plaut, 2003 ; Ullmann et Moron, 2008).

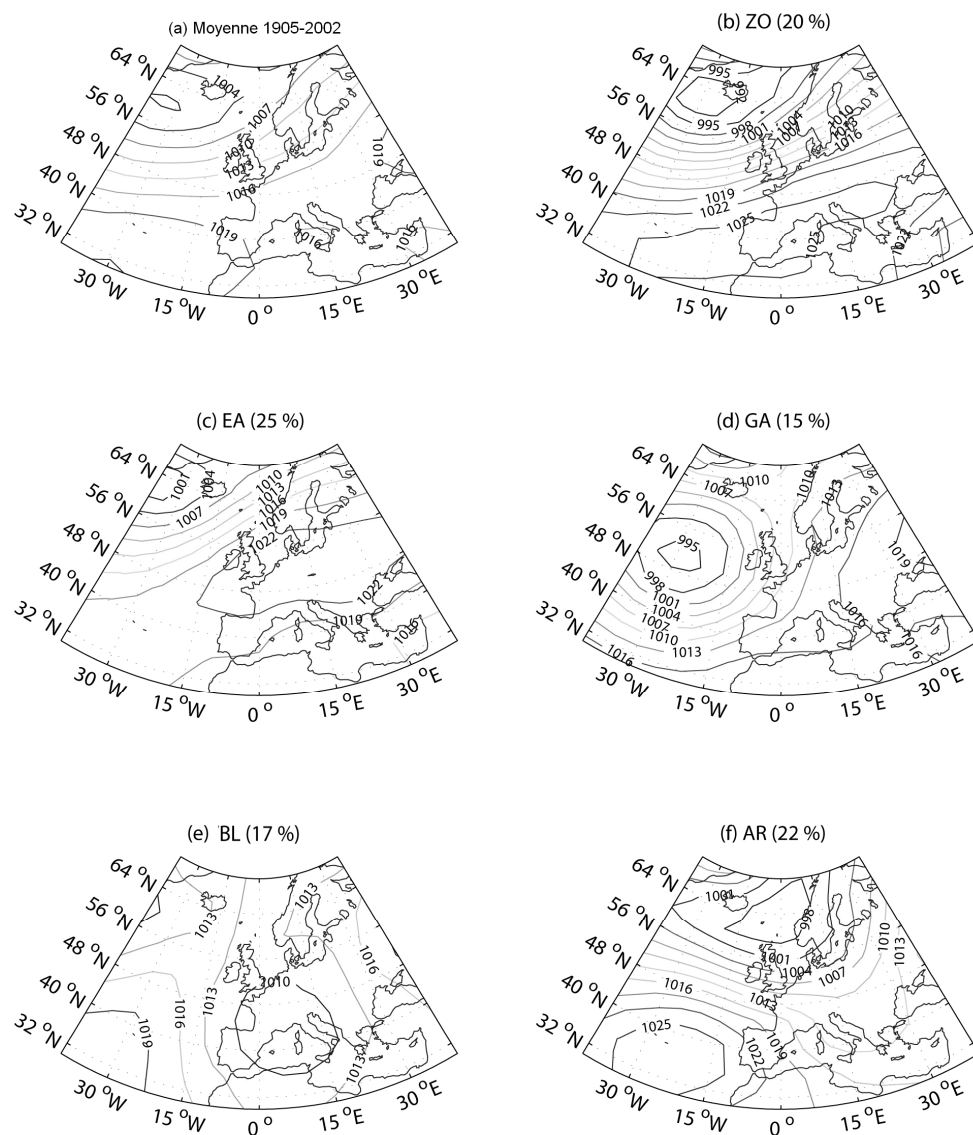


Figure 4. (a) PSM (hPa) annuelle moyenne de 1905 à 2002. PSM moyenne des jours (b) « Zonal » (ZO), (c) « East-Atlantic » (EA), (d) « Greenland Above » (GA), (e) « Blocking » (BL) et (f) « Atlantic Ridge » (AR) de 1905 à 2002.

3.3.2. Types de temps et surcotes : relation moyenne

La fréquence moyenne des types de temps ZO et BL est calculée par classes de surcote pour les trois stations du Golfe du Lion (figure 5). Le type GA (dans un moindre mesure BL ; non montré) est clairement associé aux plus fortes surcotes (figure 5). En revanche, une surcote > 40 cm dans le Golfe du Lion ne se produit presque jamais durant les jours de ZO (figure 5). Plus le niveau des surcotes augmente, plus la part du type GA devient importante (figure 5). En d'autres termes, même si tous les jours de GA ne sont pas obligatoirement associés à une forte surcote, la plupart d'entre elles se produisent presque exclusivement quand la circulation atmosphérique est de type GA.

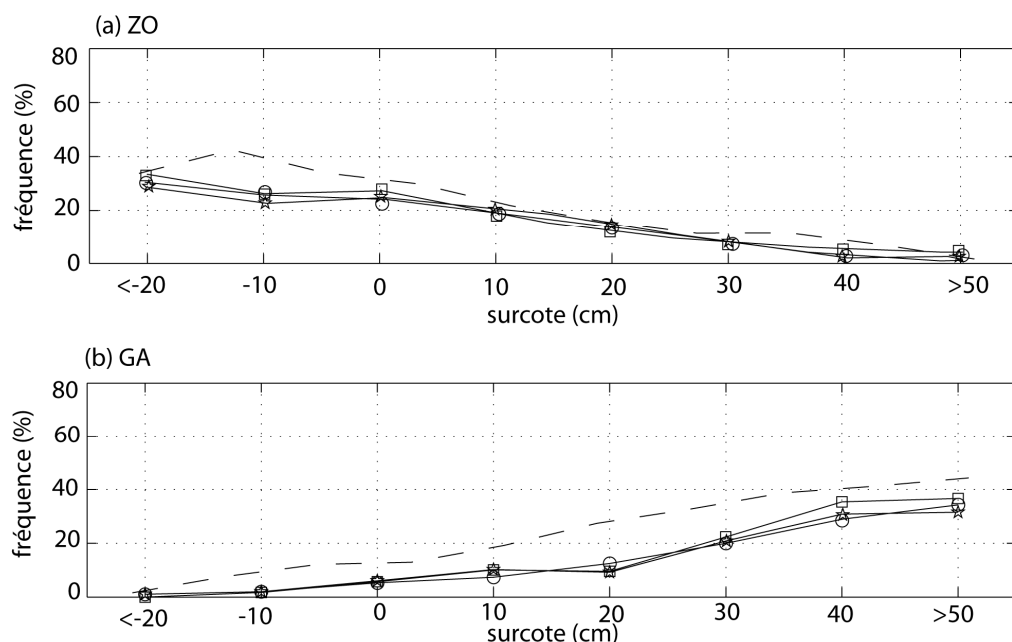


Figure 5. Fréquence (%) des jours (a) « Zonal » (ZO) et (b) « Greenland Above » (GA) par classe de hauteur de surcote à Sète (cercle), Port-Vendres (triangle) et au Grau-de-la-Dent (carrés) de 1986 à 1995 et au Grau-de-la-Dent de 1905 à 2002 (tirets).

4. Types de temps, circulation synoptique et conditions anémométriques dans le Golfe du Lion

Les surcotes dans le Golfe du Lion sont associées à la présence de forts vents de mer, qui surviennent principalement lorsqu'une dépression est centrée entre le Golfe de Gascogne et les Iles Britanniques. La fréquence mensuelle des jours où la PSM moyenne autour du Golfe de Gascogne ($[-10^{\circ}\text{W}-0^{\circ}\text{W}]$, $[45^{\circ}\text{N}-50^{\circ}\text{N}]$) est < 1010 hPa a été calculée par classes de fréquence mensuelle du type de temps GA (figure 6). La fréquence mensuelle de ces dépressions sur l'Atlantique augmente nettement avec la fréquence du type GA (figure 6). Autrement dit, à l'échelle mensuelle, plus il y a de jours GA, plus l'occurrence des jours où une dépression se trouve autour du Golfe de Gascogne est importante (figure 6). Ce type de temps favorise donc le passage des perturbations tempérées au niveau du Golfe de Gascogne. Mais les dépressions sur ce secteur agissent par ailleurs sur la fréquence du type de temps GA via leur vorticité relative et le tourbillon cyclonique qu'elles entraînent. Les interactions multilatérales entre la circulation atmosphérique à l'échelle des types de temps et à l'échelle synoptique favorisent ou défavorisent la fréquence des surcotes, en augmentant ou diminuant la probabilité d'occurrence des dépressions autour du Golfe de Gascogne et donc des vents d'afflux de SE dans le Golfe du Lion.

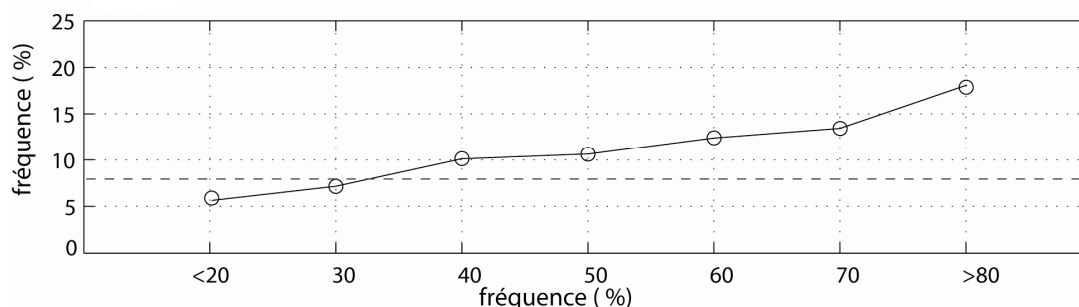


Figure 6. Fréquence mensuelle (%) des dépressions < 1010 hPa autour du Golfe de Gascogne par classe de fréquence mensuelle des jours de « Greenland Above ». Le trait discontinu représente la fréquence moyenne des dépressions < 1010 hPa autour du Golfe de Gascogne (1905-2002).

5. Relations types de temps et surcotes : variabilité au 20^{ème} siècle

A l'échelle du 20^{ème} siècle, la fréquence annuelle des types de temps GA et BL reste stationnaire (Ullmann et Moron, 2008 ; Ullmann et Monbaliu, 2009). Par contre, l'amplitude des surcotes augmente significativement de 1905 à 2002 et surtout à partir des années 60, associé à une augmentation de la fréquence et de la vitesse des vents d'afflux de sud-est dans le Golfe du Lion (Ullmann *et al.*, 2008). Il y a donc un paradoxe évident entre la stationnarité de la fréquence des types GA et BL et l'augmentation des vents d'afflux et des surcotes dans le Golfe du Lion.

Les corrélations glissantes sont calculées par segments mobiles de 60 mois entre la fréquence mensuelle des jours GA et la fréquence mensuelle des surcotes > 40 cm au Grau-de-la-Dent de 1905 à 2002 (figure 7). A partir des années 60, la variabilité interannuelle de la fréquence mensuelle des GA est de plus en plus fortement corrélée positivement avec la fréquence mensuelle des surcotes au Grau-de-la-Dent (figures 7). La relation moyenne entre la variabilité temporelle de GA et des surcotes n'est donc pas stationnaire au 20^{ème} siècle (Ullmann et Moron, 2008). En effet, la corrélation entre la fréquence mensuelle des surcotes > 40 cm et des jours GA n'est pas significative de 1905 à 1960. Elle le devient à plus de 99% sur la période de 1974 à 2002 (Ullmann et Moron, 2008).

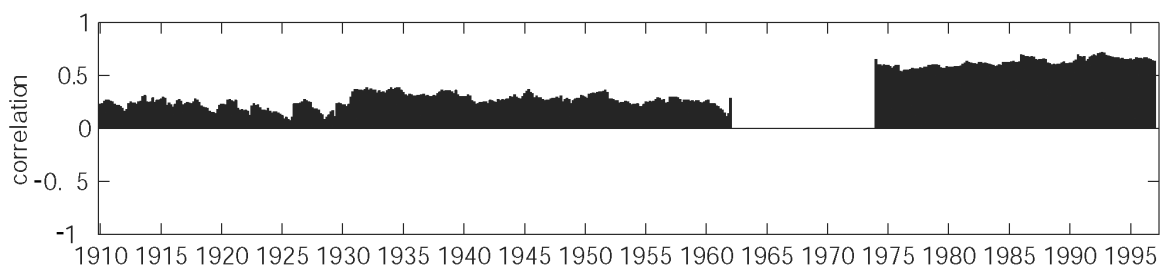


Figure 7. Corrélations glissantes par segments glissants de 60 mois entre la fréquence mensuelle des surcotes > 40 cm au Grau-de-la-Dent et celle des jours « Greenland Above » de 1905 à 2002.

Ce renforcement dans la relation entre le type de temps GA et les surcotes dans le Golfe du Lion vient du fait qu'à partir des années 60, la PSM moyenne sur l'Europe Centrale augmente significativement (Ullmann et Moron, 2008). Cette hausse a eu pour effet d'augmenter la force du gradient barométrique zonal sur le Golfe du Lion durant GA quand une dépression transite par le Golfe de Gascogne. Autrement dit, la hausse des PSM sur l'Europe Centrale a augmenté la probabilité du risque de forts vents d'afflux de sud-est et de surcotes dans le Golfe du Lion quand la circulation atmosphérique à l'échelle des types de temps est associée à GA.

6. Simulation et prévision des surcotes

A l'échelle quotidienne, la variabilité de la hauteur des surcotes dans le Golfe du Lion est principalement corrélée à celle des PSM sur le Golfe de Gascogne (Moron et Ullmann, 2005). Un modèle de régression linéaire avec la PSM quotidienne autour du Golfe de Gascogne comme prédicteur de la hauteur quotidienne des surcotes dans le Golfe du Lion permet de simuler de façon robuste la variabilité interannuelle des surcotes les plus fortes (Moron et Ullmann, 2005 ; Ullmann, 2009). Ce même modèle de régression est ici utilisé avec les PSM autour du Golfe de Gascogne simulées de 1980 à 2100 par le modèle de circulation général ECHAM/MPI-OM pour le scénario A1b du changement climatique. L'ensemble des 17 différentes expériences de simulations est utilisé ici.

Sur la période contemporaine commune entre les simulations et les observations (1980-2000), les percentiles mensuels à 99% de la hauteur des surcotes simulées par le modèle de régression sont statistiquement similaires aux observations *in situ*, et cela pour chacune des 17 expériences (non montré). A l'échelle du 21^{ème} siècle, le percentile annuel à 99% de la hauteur des surcotes pourrait

rester stationnaire dans le Golfe du Lion de 2000 à 2100 dans le scénario A1b du changement climatique (figure 8). En effet, les PSM moyennes autour du Golfe de Gascogne et sur l'Europe Centrale pourraient ne pas évoluer significativement (non montré), n'entraînant ainsi aucun changement dans la fréquence et la force des vents d'afflux de secteur sud à l'échelle du Golfe du Lion. Autrement dit, le changement climatique selon le scénario médian de l'IPCC pourrait ne pas modifier significativement la hauteur des plus fortes surcotes dans le Golfe du Lion.

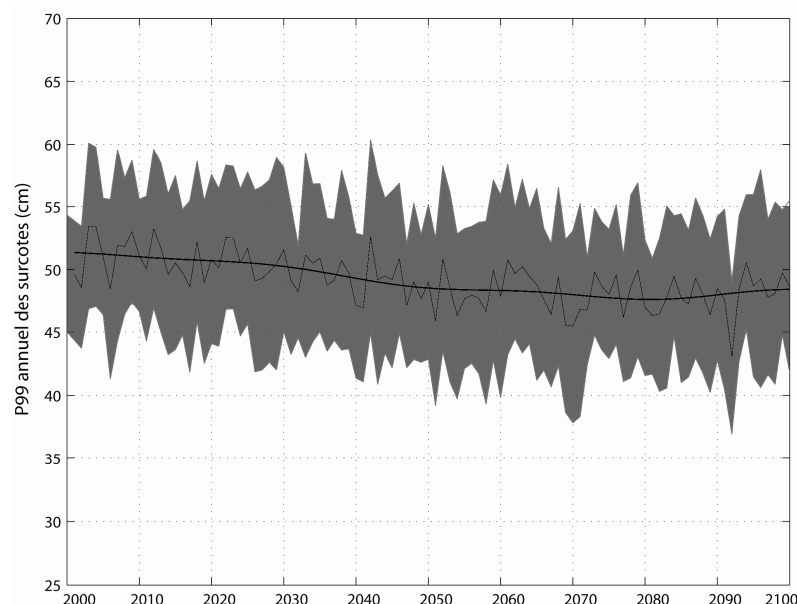


Figure 8. Percentile annuel à 99% de la hauteur des surcotes de 2000 à 2100. Traits pleins : moyenne des 17 simulations avec en courbe lissée, uniquement les variations dont la période est supérieure à 30 ans. Zone grisée : variabilité annuelle au sein des 17 simulations ($\pm \sigma$).

7. Conclusion

Le principal forçage des surcotes dans le Golfe du Lion est le vent d'afflux de secteur sud à sud-est. Celui-ci souffle dans l'ensemble du Golfe du Lion quand la géographie barométrique y entraîne un fort gradient barométrique zonal entre une dépression centrée entre le Golfe de Gascogne et les îles Britanniques et des hautes pressions sur l'Europe Centrale. Cette configuration barométrique est principalement associée au type de temps « Greenland Above » qui favorise le passage des perturbations tempérées autour du Golfe de Gascogne. Mais les dépressions sur ce secteur agissent par ailleurs sur la fréquence de ce type de temps via leur vorticité relative et le tourbillon cyclonique qu'elles entraînent. Via ces interactions multilatérales, les types de temps nous renseignent une partie de l'information sur la variabilité des surcotes à l'échelle du Golfe du Lion. Dans la seconde moitié du 20^{ me} siècle, la fréquence du type « Greenland Above » reste stationnaire alors que les vents d'afflux de secteur sud et l'amplitude des surcotes dans le Golfe du Lion augmentent. Ce paradoxe évident peut être expliqué par des changements dans les conditions atmosphériques moyennes à l'échelle des types de temps. En effet, à partir des années 60, la hausse de la pression atmosphérique de surface sur l'Europe Central a augmenté la probabilité du risque de forts vents d'afflux et de fortes surcotes dans le Golfe du Lion. A l'échelle du 21^{ me} siècle, l'amplitude des plus fortes surcotes pourrait rester stationnaires dans le scénario A1b du changement climatique, associé à la stationarité des conditions barométriques autour du Golfe de Gascogne et sur l'Europe Centrale. L'intégration des forçages atmosphériques à différentes échelles spatio-temporelles semble une approche pertinente pour analyser le changement climatique et ses impacts, notamment sur les  v nements extrêmes aux échelles régionales et locales.

Références

- Caspar R., Costa S., Jakob E., 2007. Fronts froids et submersions de tempête dans le nord-ouest de la France. *La Météorologie*, 57: 37-47.
- Diday E., Simon J.C., 1976. Clustering analysis. *Communication and Cybernetics*, 10: 47-94.
- Hufty A., 2001. Introduction à la Climatologie. De Boeck Université Press, Bruxelles. 542 p.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, 940 p.
- Moron V., Plaut G., 2003. The impact of El Niño southern oscillation upon weather regimes over Europe and the North Atlantic during boreal winter. *International Journal of Climatology*, 23: 363-379.
- Moron V., Ullmann A., 2005. Relationship between sea-level pressure and sea-level height in Camargue (French Mediterranean coast). *International Journal of Climatology*, 25: 1531-1540.
- Paskoff R., 1993. Côtes en danger. Pratiques de la Géographie. Masson Eds. 247 p.
- Plaut G., Simonnet E., 2002. Large-scale circulation classification, weather regimes, and local climate over France, the Alps and Western Europe. *Climate Research*, 17: 303-324.
- Sterl A., Severijns C., van Oldenborgh G.J., Dijkstra H., Hazeleger W., van den Broeke M., Burgers G., van den Hurk B., van Leeuwen P.J., van Velthoven P., 2008. When can we expect extremely high surface temperature? *Geophysical Research Letters*, 35, doi: 10.1029/2008GL03071.
- Tomasin A., 2005. The software "POLIFEMO" for tidal analysis. *Technical Note 202*. ISMAR-CNR, Venice, Italy.
- Ullmann A. Pirazzoli P.A, Tomasin A., 2007. Sea surges in Camargue: Trends over the 20th century. *Continental Shelf Research*, 27: 922-934.
- Ullmann A. Moron V., 2008. Weather regimes and sea surge variations over the Gulf of Lions during the 20th century. *International Journal of Climatology*, 28: 159-171.
- Ullmann A., Pirazzoli P.A., Moron V., 2008. Sea surges around the Gulf of Lions and atmospheric conditions. *Global and Planetary Change*, 63: 203-214.
- Ullmann A., 2008. Surcotes dans le Golfe du Lion et conditions atmosphériques : variabilité contemporaine et future (1905-2100). Thèse de doctorat. Université Aix-Marseille I. 250 p.
- Ullmann A., Monbaliu J., 2009. Changes in atmospheric circulation over the North Atlantic and sea-surge variations along the Belgian coast during the twentieth century. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.1904
- Vautard R., 1990. Multiple Weather Regimes over the North Atlantic: Analysis of Precursors and Successors. *Monthly Weather Review*, 118: 2056-2081.